

古代米粉の製パン性に関する研究（第2報）

Study on the Baking Properties of Ancient Rice Flours (No. 2)

前田 智子* 溝内 尚子** 森田 尚文***
MAEDA Tomoko MIZOUCHI Naoko MORITA Naofumi

有色米である古代米はそれらの名称に対応した外皮の色を粉体でも色味として残していた。いずれの古代米粉も精白米粉や市販強力粉よりも有意に優れた抗酸化性とポリフェノール量を示したが、特に紫黒米で顕著であった。タピオカ澱粉以外の加工澱粉（ヒドロキシプロピル化リン酸架橋ウルチ米澱粉、リン酸架橋ウルチ米澱粉）はペーストを形成せず粘度ピークを示さず、米粉と混合した場合でも同様であった。生地 の性質として、精白米粉よりも紫黒米粉ベースに澱粉併用の方が醗酵特性は良好であり、特にその影響は、澱粉の種類や加水量の違いに大きく影響されないことがわかった。生地 のSEM観察では、紫黒米粉ベースでは粘性のあるべったりとした形態を示し、これは上記の紫黒米粉ベースにおける蒸しパン生地 の良好な醗酵特性に関係していると思われる。蒸しパンの品質として、外観観察では、紫黒米粉ベースではタピオカ澱粉とヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉の併用により、膨らみや色味も良好となることがわかった。物性試験では、全ての米粉蒸しパンにおいて、それらのソフト感にはリン酸架橋澱粉が関与し、ヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉は、蒸しパンの凝集性やガム性の向上に影響しているようであった。また、官能評価では、紫黒米ベースの蒸しパンでも加工澱粉を併用することで、食味やテクスチャーの劣らない最終製品となり、特にその傾向はリン酸架橋澱粉添加により認められた。以上の結果より、米と加工澱粉の特性を活かし「蒸す」という調理法は、古代米粉の利用には有効であると考えられた。

キーワード：古代米，米粉，小麦粉，加工澱粉，蒸しパン

Key words : ancient rice, rice flour, wheat flour, modified-starch, steamed-bread

1. はじめに

古代米とは、我々の祖先が栽培していた、古代の稲品種が持っていた特色を色濃く残した稲のことを言い、黒米（紫米、紫黒米）赤米、緑米、香り米等が知られている¹⁾。古代米には今の米にはない栄養成分が多く含まれ、特に紫黒米にはこの傾向が顕著で、慢性疾患、虚弱体質者にとって滋養強壮作用を持ち、腎臓病に効く、白髪が黒くなるなどの効果が指摘されている。これらは、糠に含まれる栄養成分のためであり、特にビタミン類（B, E）、リン、カルシウム等により、生活習慣病や癌を抑制する抗酸化能を持つことも知られている¹⁾。また、各種古代米の持つ色素由来の機能性は注目されている。紫黒米のアントシアンは肝機能や視力の増強効果、赤米のタンニン は口内炎予防や癌予防、緑米のクロロフィルは増血剤や脱臭効果などがある¹⁾。近年、改めて健康志向が高まる日本でも古代米が見直されはじめ、全国各地で栽培されるようになり、様々な古代米の品種改良がなされている。

近年、食の持つ新たな価値である三次機能（生体調節機能）に対する関心や期待も高まる中、古代米は精白米よりも様々な栄養成分や機能性成分が含まれており、注

目されつつある食材のひとつである。一般的に多種類の機能性成分を含む玄米が体に良いことは、これまでも周知されていた。しかしながら、玄米に比べ精白米の方が圧倒的に多く消費されている。その主要因は、玄米が単純に「美味しくない」という食味の点にある。米は従来、加工食品に利用されることなく、そのまま粒として食される「粒食」形式をとってきた。しかし、既述のように栄養性や機能性の面で優れた玄米は、外皮や胚芽を含む特殊な素材であるため、食味面での改善が求められる。従って、その効果的かつ多様な利用方法を目指すならば、粒のままではなく粉体化する必要もある。現在、米粉を用いた製パンは学校給食等でも利用されつつあるが、米の製粉化や加工技術については、学術・実践いずれの面においても小麦に比べてまだ多くの検討事項が残されている。古代米の研究としては紫黒米や赤米の育種、機能性、成分分析や抗酸化活性及び吸水性、製パン性などについては報告がなされている²⁾⁻⁷⁾。しかし、精白米、玄米、古代米、いずれにおいても米の「粉食」としての実際応用に関する研究は小麦粉に比べて少ない。

そこで、本研究では、紫黒米を中心に古代米を取り上げ、それらの性質と製パン性を中心とした加工特性を調

*兵庫教育大学大学院教科教育実践開発専攻生活・健康・情報系教育コース 教授

兵庫教育大学学校教育研究科修士 *(株)FUDAI、東洋食品工業短期大学

表1. 実験試料

試料	種類	品種	生産地等	表記法
古代米粉	紫黒米	モチ	北陸産	紫黒米粉モチ
		ウルチ	兵庫県産	紫黒米粉ウルチ
	赤米	モチ	奈良県産	赤米粉モチ
		ウルチ	奈良県産	赤米粉ウルチ
精白米粉	緑米	モチ	奈良県産	緑米粉モチ
	米粉	モチ	香川県産	米粉モチ
	米粉	ウルチ	香川県産	米粉ウルチ
小麦粉	市販強力粉			市販強力粉
タピオカ澱粉	タピオカ由来		日澱化学(株)	T澱粉
ヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉	ウルチ米由来		日澱化学(株)	HDP澱粉
リン酸架橋澱粉	ウルチ米由来		日澱化学(株)	DP澱粉

べることで、機能性の高い米粉の利用拡大を検討することを目的とした。前報において、古代米粉単独、精白米との併用、グルテン添加をして製パンを行った結果、単独、併用ともに製パン性は極めて低く、それはグルテン添加でも改善されないことを報告した。すなわち、生地の高糊特性、形態は市販強力粉よりも低く、単にグルテン添加では米粉の製パン性改善は望めなかった⁸⁾⁻¹⁰⁾。そこで、本稿では米粉の調理・加工方法として、「焼成」ではなく、「蒸す」ことを取り上げた。一般的に蒸しパンは、生地をスチームで加熱して膨らませ、澱粉を糊化したパンのことである。古くから中国にある「饅頭（まんとう）」等、小麦粉生地を「蒸す」ということは、東洋で多く使われている方法である¹¹⁾。また、玄米の70%を占める澱粉は最も主要な成分であり¹²⁾、我々に欠かせない食品素材として利用されてきた。しかし、澱粉は低温、冷凍耐性が小さいため、その機能を改善・助長するために、近年、澱粉分子の切断、粒構造の破壊や強化、あるいは改質など物理化学的性状を変化させた加工澱粉が使用されるようになった。加工澱粉は、糊料、乳化剤、増糊安定剤など食領域に広く利用され、糊化温度、粘性、結着性・崩壊性、食感、膨化性、外観、粉末化、油脂吸着性等を改善・改変することで、食品の嗜好性を高められる¹³⁾。

以上の結果を踏まえ、本稿では、元来、加工特性の低い古代米の作業性や加工性、さらには食感・食味改善を目的に、古代米粉に加工澱粉を併用し、その効果についても併せて検討を行うこととした。

2. 実験試料

実験試料を表1に示す。古代米として、紫黒米モチ（北陸産）、ウルチ（兵庫県産）、赤米モチ（奈良県産）、ウルチ（奈良県産）、緑米モチ（奈良県産）の玄米をいずれも約100 μ mに粉碎し使用した。コントロールとして精白米の米粉モチ、ウルチ種と、市販強力粉を使用した。また、品質改良剤としてタピオカ澱粉（イトメン（株））と日澱化学（株）のヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉（ウルチ米由来）、リン酸架橋澱粉（ウルチ米

由来）も使用した。

3. 実験方法

3-1. 外観観察と色彩測定

試料をガラス製シャーレ（直径3.0cm、高さ1.0cm）の約半分程度まで充填し、分光測色計（ミノルタ(株) CM-3500d）を用いて、D65光源、視野10度で、L*値（明度）、a*値、b*値及び表面反射率を測定した。

3-2. 成分値分析

水分含量、灰分含量、蛋白質含量、脂質含量は定法により測定した。糖質は全量から上記4項目を差し引きした値で計算した。

3-3. 抗酸化性とポリフェノール量¹⁴⁾

各種粉体試料の抗酸化性とポリフェノール量を測定した。

試料0.5 gに80%エタノール5 mlを加え、30℃で1時間攪拌抽出を行い、4℃で1時間静置後、遠心分離（3000rpm、10分間）を行い、上清を回収した。残渣に80%エタノール5 mlを加え、同様の抽出操作後、得られた上清と合わせ、80%エタノールで10mlに定容し、これをポリフェノール抽出液とした。抗酸化性については、DPPH ラジカル補足能により測定を行った。スクリーキャップ付き試験管に0.5mM DPPH 1 mlと80mM リン酸緩衝液（pH6.0）0.2mlを加えよく混和後、上記で得られたポリフェノール抽出溶液1 mlを加え密栓後よく振り混ぜた。遮光下で30℃、20分間振盪させた後、517nmの波長で吸光度を測定した。ブランクには80%エタノール、標準溶液にはL-(+)-アスコルビン酸を使用し、上記と同様の操作を行い検量線を作成した。

一方、総ポリフェノール量は、上記で調製したポリフェノール抽出溶液1 mlにフォーリン・チオカルト試薬0.5 mlと0.4M 炭酸ナトリウム溶液5 mlを加えよく混和し、30℃で30分間反応させた。反応後、660nmの波長で吸光度を測定した。Blank には80%エタノール、標準溶液には（+）-カテキンを使用し、上記と同様に反応を行い、得られた検量線から総ポリフェノール量を求めた。

表2. 蒸しパン調製材料配合

試料	米粉DP	米粉HDP+T	米粉DP+T	紫黒米粉DP	紫黒米粉HDP+T	紫黒米粉DP+T (g)
米粉ウルチ	35	10	10	—	—	—
紫黒米粉ウルチ	—	—	—	35	10	10
T澱粉	—	25	25	—	25	25
HDP澱粉	—	15	—	—	15	—
DP澱粉	15	—	15	15	—	15
上白糖	15	15	15	15	15	15
ドライイースト	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
重曹	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
水	60	35	32	60	35	32

表記は表1と同様。

3-4. ビスコアミログラフ

表1で示した精白米粉、紫黒米粉と市販強力粉を各65 g（14%v/w）と表2に示す副材料を除いた米粉と澱粉を混合した試料6点を各種50 g（14%v/w）とした。いずれも450mlの蒸留水に懸濁させ、AACC法によりブラベンダー社製のビスコグラフにより測定を行った¹⁵⁾。

3-5. 蒸しパンの調製¹⁶⁾¹⁷⁾

製パンには表2に示す紫黒米粉ウルチと精白米粉の米粉ウルチを用いた。副材料として、上白糖（三井製糖(株)）、ドライイースト（JT フーズ(株)）、重曹（半井化学薬品(株)）を用いた。各種米粉と澱粉を混合、計6種類調製した。米粉、澱粉、砂糖、ドライイースト、重層を秤量し混ぜ合わせした後、2回ふるいにかけて、ボールに蒸留水を加え粉類を加え、電動ミキサー（パナソニック(株)MK-H4）で混合した（45rpm/分）。耐熱容器（底面直径5 cm、上面直径8 cm、高さ5 cm）に生地を流し入れ、40分間発酵（温度27℃、湿度85%）後、蒸し器（82℃、弱火）で約20分間蒸し上げた。

3-6. 生地に関する実験

(1) ドウの炭酸ガス発生量の測定¹⁸⁾

上記3-5で調製した生地試料6点各々を20 g/瓶とし、ファーモグラフ（アトー(株)AF-1101W）付属の10個の試料瓶に充填後、蓋をして、30℃の恒温水槽に設置した。本体と試料瓶をゴムチューブでつなぎ、生地中のトータルガス発生量及び内蔵ガスを5分毎に120分間まで操作マニュアルに従い測定した。

(2) 生地のSEM観察¹⁸⁾

上記3-5で調製した生地試料6点のミキシング後と発酵後の生地を各約2 g採取し、ラップで包んだ状態のものを液体窒素の中で急速冷凍し、前報¹⁷⁾に従いSEM観察した。

3-7. パンに関する実験¹⁷⁾

(1) 物性試験

蒸しパン試料6点について、クリープメーター（(株)山電RE-3305S）により、パンクラムの物性測定を前報¹⁷⁾¹⁸⁾に準じて行った。破断試験では、調製後約1時間室温で冷却したパンクラム（厚さ40mm×幅25mm×高さ10mm）と保存1日後（25℃）のパンクラムを用いて測定歪率をサンプル厚みの30%とし測定した。すなわち、プランジャー

No.49（楔型）により接触面積25mm²で測定速度1 mm/sec及びロードセル20Nでの最大荷重を測定した。テクスチャー試験では、調製後約1時間室温で冷却したパンクラム（厚さ20mm×幅20mm×高さ10mm）と保存1～2日後（25℃）のパンクラムを用いて測定歪率は30%とし、プランジャー No.1（円型）により接触面積400mm²で測定速度1 mm/secで最大荷重、凝集性およびガム性を測定した。

(2) 外観観察

蒸しパンの外観をデジタルカメラ（ソニー（株）cyber-shot）で撮影し、観察を行った。

(3) 官能評価

上記3-7（1）の物性試験等で、良好とされた蒸しパン4点を選択し、下記のとおり、前報¹⁷⁾に準じて官能評価を行った。

①パネル：兵庫教育大学 学生11名

②サンプル：保存（室温）1日後の蒸しパン4点。大きさ（厚さ約35mm×幅25mm×高さ10mm）。

③評価方法：色、キメの状態、気泡の大きさ、香り、口ざわり、舌ざわり、硬さ、弾力、モチモチ感、フワフワ感、崩れにくさ、甘さ、酸味、味、総合評価の計15項目について、「非常に好ましくない（1点）」～「非常に好ましい（5点）」とし、5段階評価法により官能評価を行った。

3-8. SPSSによる解析¹⁸⁾¹⁹⁾

以上の実験には3回以上の測定を行った。試料間の平均値比較には多重比較の一元配置分散分析を行いDuncan（ $P<0.05$ ）により有意差検定を行った。データーの集計および解析には米国SPSS社の統計処理ソフトSPSS（Version 11.0; SPSS Inc.; Chicago IL）を使用した。

4. 実験結果および考察

4-1. 外観観察結果と色彩測定結果

有色米である古代米はそれらの名称に対応した外皮の色を示していた。市販強力粉の明度と表面反射率はいずれの米試料よりも有意に高い値を示し、非常に明るい粉であったのに対し、いずれの古代米でもそれらの数値は明らかに低下した（表3）。一方、精白米粉は、小麦粉よりも明度と表面反射率は有意に高く、赤味と黄色味も

表 3. 各種粉の色彩測定結果

試料	L*	a*	b*	表面反射率
紫黒米粉モチ	69.95 b	3.35 e	0.83 a	40.68 b
紫黒米粉ウルチ	69.44 a	2.48 d	4.46 b	39.96 a
赤米粉モチ	77.54 d	5.18 g	9.12 f	52.43 d
赤米粉ウルチ	75.08 c	4.06 f	9.01 e	48.40 c
緑米粉モチ	88.78 e	0.33 c	8.72 d	73.69 e
米粉モチ	92.46 g	-0.27 a	5.61 c	81.74 g
米粉ウルチ	93.32 h	-0.28 a	4.47 b	83.69 h
市販強力粉	92.20 f	0.23 b	9.13 f	81.09 f

Duncan で有意差検定を行った。同列で異なる文字を持つ値は互いに有意差がある ($P<0.05$)。

表 4. 各種粉の成分分析結果

試料	水分	灰分	蛋白質 (g/100g)	脂質	糖質	抗酸化活性*) ($\mu\text{mol/g}$)	総ポリフェノール量**) (mg/100g)
紫黒米粉モチ	12.20	1.59	7.10	2.73	76.40	64.7 e	81.6 de
紫黒米粉ウルチ	10.90	1.34	7.30	1.59	78.90	54.0 cd	98.7 f
赤米粉モチ	12.20	1.50	8.00	2.97	75.40	61.4 d	65.2 d
赤米粉ウルチ	12.30	1.59	7.60	2.39	76.10	63.7 e	60.2 d
緑米粉モチ	12.50	1.36	7.00	2.65	76.50	49.2 c	53.3 c
米粉モチ	11.50	0.41	7.10	0.74	80.30	12.4 b	29.4 b
米粉ウルチ	11.30	0.38	6.70	0.32	81.30	8.0 a	24.7 a
市販強力粉	13.00	0.37	12.80	0.72	73.10	9.4 a	53.4 c

*) 値はアスコルビン酸相当量 ($\mu\text{mol/g}$) として表記した。

**) 値はカテキン相当量 (mg/100g) として表記した。

Duncan で有意差検定を行った。同列で異なる文字を持つ値は互いに有意差がある ($P<0.05$)。

有意に低い値を示し、小麦粉とは異なる米粉独自の色の特徴を示した。

4-2. 各種成分分析結果

各種古代米粉では灰分が市販強力粉対し、約3.6~4.3倍と多く、脂質は市販強力粉や精白米粉に対し約2.2~4.1倍の数値であった(表4)。糖質では市販強力粉は約70%であったが、米粉試料は約80%であった。米粉の中では精白米粉に比べ古代米粉は灰分、脂質ともに約2倍近く多く、糖質では精白米粉のほうが多かった。玄米や古代米は各成分において、類似した数値を示し、糠で覆われているので脂質含量が高かったといえる。

また、全ての精白米や有色米である古代米は小麦粉よりも有意に優れた抗酸化性を示した。本実験と同様の方法で測定された紫黒米や赤米では約60 $\mu\text{mol/g}$ 、精白米では約10 $\mu\text{mol/g}$ と報告されており²⁾、本研究でも各々について同程度の値を示した。精白米は有色米に比べ有意に低い値を示し、有色米の中でも紫黒米粉モチが最も高い抗酸化値を示した。抗酸化性と同様に、殆どの古代米粉が精白米粉や小麦粉よりも有意に多量のポリフェノールを含んでいた。中でも、紫黒米粉ウルチが98.7mg/100gと最高値で、次に紫黒米粉モチが81.6mg/100gとなった。市販強力粉は米粉モチ、ウルチよりも高い値を示したが、紫黒米よりは有意に低い値となった。

4-3. ビスコアミログラフ結果

ビスコアミログラフの結果を表5に示す。米粉単独ではピークを示したにも関わらず、ヒドロキシプロピル化リン酸架橋ウルチ米澱粉(HDP澱粉)、リン酸架橋ウルチ米澱粉(DP澱粉)各種単独、ならびにこれらを米粉

あるいは紫黒米粉をそれぞれ混合した試料でもピークを示さなかった。既述のように、架橋澱粉は2ヶ所以上の澱粉の水酸基間に多官能基を結合させた誘導体で、わずかな架橋により加熱時の膨潤と溶解が抑制され²⁰⁾、架橋が進めば加圧下でも溶解が困難になると言われているところから、粘性を示さなかったと考えられる。タピオカ澱粉(T澱粉)は小麦粉よりも最終粘度、セットバック、トータルセットバックが小さく、膨潤、崩壊し易くかつ冷却中にゲル化しにくい性質を持つことがわかった。米粉については、精白米、古代米にかかわらず、モチ・ウルチ間での試料の傾向が同様であった。

4-4. 生地に関する実験

(1) ドウの炭酸ガス発生量の測定結果

表6に示すように、米粉ウルチにタピオカ澱粉とHDP澱粉を混合した米粉HDP+Tは、地試料に比べガス発生量は有意に少なかった。測定開始120分後の内蔵ガス量では米粉、紫黒米粉ともに同じ澱粉を併用しているもの同士では、紫黒米粉の方が米粉に比べ有意に多くなった。ガス漏洩量は全試料間で有意差はなかった。従って、米粉ベースよりも紫黒米ベースに澱粉併用の方が醗酵特性は良好であり、澱粉の種類や加水量の違いによって大きく影響されないことがわかった。

(2) ミキシング直後の生地のSEM観察結果

ミキシング後と発酵後の生地のSEM画像を写真1に示す。米粉DPでは、米澱粉由来の多角形で角のある形態の澱粉粒が密集しており、ミキシング後と発酵後ではあまり変化が見られなかった。米粉HDP+Tでは、米澱粉由来の多角形の澱粉粒と、タピオカ澱粉由来の多角

表5. 各種粉のビスコアミログラフ結果

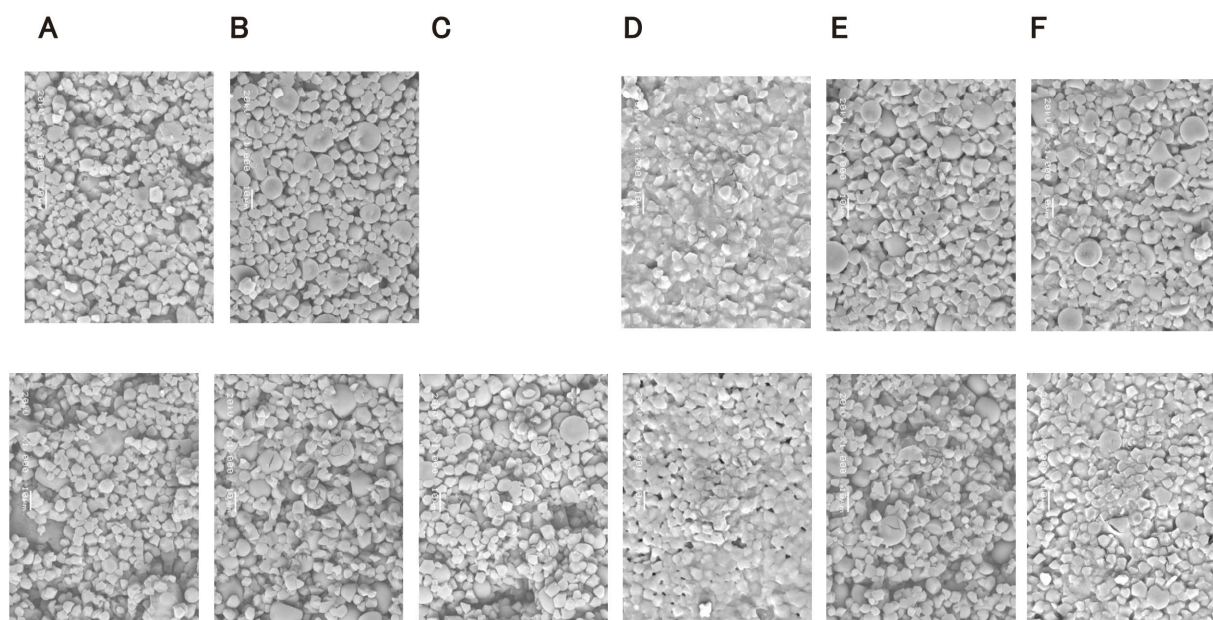
試料						PV-BDV	FV-PV	FV-BDV
	Ti (°C)	Tp (°C)	PV (B.U.)	BDV (B.U.)	FV (B.U.)	BD (B.U.)	SB (B.U.)	TSB (B.U.)
米粉モチ	65.6	68.7	151.3	25.0	97.5	126.3	-53.8	72.5
米粉ウルチ	68.7	93.0	1267.5	270.0	645.0	997.5	-622.5	375.0
紫黒米粉モチ	63.5	73.1	69.3	39.0	176.0	30.3	106.7	137.0
紫黒米粉ウルチ	67.0	82.4	674.0	222.5	572.5	451.5	-101.5	350.0
市販強力粉	61.9	91.4	815.0	626.3	2745.0	188.8	1930.0	2118.0
T澱粉	55.9	61.5	540.0	280.0	580.0	260.0	40.0	300.0
HDP澱粉	ピークなし							
DP澱粉								
米粉DP								
米粉HDP+T	ピークなし							
米粉DP+T								
紫黒米粉DP								
紫黒米粉HDP+T								
紫黒米粉DP+T								

Ti：糊化開始温度，Tp：糊化ピーク温度，PV：糊化粘度，BDV：ブレイクダウン粘度，FV：最終粘度，BD：ブレイクダウン，SB：セットバック，TSB：トータルセットバック
表記は表1と副材料を除いた表2と同様。

表6. 蒸パン生地ファーモグラフ結果

試料	トータルガス量 (ml)			内蔵ガス量 (ml)			ガス漏洩量 (ml)			加水量 (g)
	40	80	120	40	80	120	40	80	120	
	(分)			(分)			(分)			
米粉DP	12.1 b	29.0 b	44.1 b	11.7 c	27.3 c	40.7 b	0.7 a	2.1 a	4.1 a	60
紫黒米粉DP	12.9 b	32.2 b	50.5 b	12.7 d	31.4 d	48.8 c	0.3 a	0.9 a	1.7 a	60
米粉HDP+T	5.0 a	11.7 a	18.9 a	9.5 a	22.2 a	35.3 a	0.4 a	0.7 a	1.4 a	35
紫黒米粉HDP+T	11.3 b	26.0 b	41.7 b	10.8 bc	25.0 b	40.2 b	0.5 a	1.0 a	1.5 a	35
米粉DP+T	10.3 b	24.2 b	39.4 b	10.0 ab	22.1 a	35.1 a	0.4 a	2.1 a	4.4 a	32
紫黒米粉DP+T	10.7 b	26.0 b	43.3 b	10.2 ab	24.7 b	41.0 b	0.5 a	1.4 a	2.3 a	32

Duncan で有意差検定を行った。同列で異なる文字を持つ値は互いに有意差がある (P<0.05)。
表記は表5と同様。



A, 米粉DP; B, 米粉HDP+T; C, 米粉DP+T; D, 紫黒米粉DP; E, 紫黒米粉HDP+T; F, 紫黒米粉DP+T

写真1. 蒸しパン生地のSEM画像
上段, ミキシング後; 下段, 発酵後
表記は表2と同様。

表 7. 蒸しパンの物性試験結果

試料	破断試験最大荷重 (N)		テクスチャー試験最大荷重 (N)		凝集性		ガム性荷重 (N)	
	1日	2日	1日	2日	1日	2日	1日	2日
米粉DP	5.30 b	4.89 c	3.01 a	3.23 a	0.87 d	0.89 b	2.60 a	2.87 a
米粉HDP+T	9.68 c	12.10 d	12.57 b	14.78 c	0.92 e	0.91 c	11.53 b	13.50 c
米粉DP+T	測定不可*	測定不可*	測定不可*	測定不可*	測定不可*	測定不可*	測定不可*	測定不可*
紫黒米粉DP	1.10 a	1.00 a	5.23 a	2.34 a	0.50 a	0.80 a	2.63 a	1.88 a
紫黒米粉HDP+T	4.72 b	5.22 c	14.88 b	16.94 c	0.80 c	0.92 c	11.96 b	15.57 c
紫黒米粉DP+T	4.01 b	2.49 b	12.51 b	6.65 b	0.75 b	0.83 a	9.41 b	5.54 b

Duncan で有意差検定を行った。同列で異なる文字を持つ値は互いに有意差がある (P<0.05)。

*中心部が粉々になった為、測定不可であった。表記は表 2 と同様。

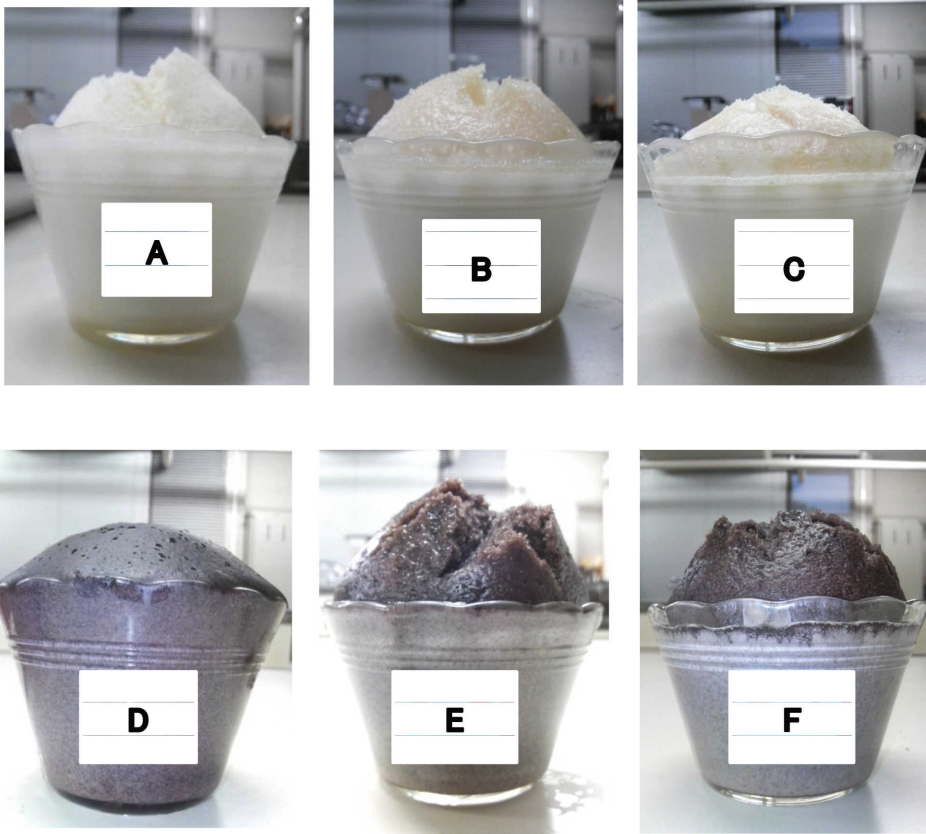
表 8. 蒸しパンの官能評価の結果

試料	色	キメ	気泡	香り	口ざわり	舌ざわり	硬さ
米粉DP	3.27 b	3.64 b	3.64 b	3.36 a	4.64 c	3.82 c	3.55 b
米粉HDP+T	4.00 c	4.36 c	4.45 c	2.95 a	2.50 ab	1.91 a	1.59 a
紫黒米粉HDP+T	1.45 a	2.45 a	2.45 a	3.09 a	2.10 a	1.90 a	2.18 a
紫黒米粉DP+T	2.73 b	2.55 a	2.95 ab	3.27 a	3.18 b	2.77 b	3.27 b

試料	弾力	モチモチ感	フワフワ感	崩れにくさ	甘さ	酸味	味	総合
米粉DP	3.82 b	4.41 b	2.09 ab	4.27 b	3.64 b	1.36 a	3.73 b	3.55 b
米粉HDP+T	2.45 a	2.36 a	1.36 a	3.82 b	3.73 b	1.45 a	2.86 a	2.27 a
紫黒米粉HDP+T	2.91 a	2.41 a	1.86 ab	2.82 a	2.91 a	1.73 a	2.82 a	2.91 ab
紫黒米粉DP+T	2.64 a	2.82 a	2.27 b	2.50 a	3.18 ab	1.73 a	3.00 a	2.95 ab

Duncan で有意差検定を行った。同列で異なる文字を持つ値は互いに有意差がある (P<0.05)。

表記は表 2 と同様。



A, 米粉DP; B, 米粉HDP+T; C, 米粉DP+T; D, 紫黒米粉DP; E, 紫黒米粉HDP+T; F, 紫黒米粉DP+T

写真 2. 各種蒸しパンの外観
表記は表 2 と同様。

形または半球形の形状をした澱粉粒が、全体的に密に集まっており、発酵後はミキシング後の生地より澱粉粒が若干膨潤し、澱粉の分散にも不均一性が見られた。米粉

DP+T の生地 C では、ミキシング後の写真は撮影出来なかった。これは、生地は見かけ上、粉と水が混合されひとまとまりになっているように見えたが、凍結乾燥後

には、完全に粉体状となり、固体状の乾燥試料として得られなかった。すなわち粉と水が十分に水和していなかったと思われた。発酵後の生地は試料 A や B と比較すると、球状の形状をした澱粉が多く生地表面は凹凸があり、緻密性に乏しい生地形態をしていた。

一方、紫黒米粉 DP では、同様の加工澱粉を使用した米粉 DP の生地 A と比較すると、同じ加水量であるにも関わらず、粘性を示していた。紫黒米粉 HDP+T でも、同様に生地 B と比べて、同じ加水量であるにも関わらず、全体的に粘性のある生地が観察された。また、紫黒米粉 DP+T と生地 C と比較すると、発酵後の生地では同様の球状形態をした澱粉が多くみられた。しかし、紫黒米ベースで澱粉の組み合わせの違う生地 D, E と比較すると、生地表面の湿気感が低く比較的乾いており、澱粉の形状がはっきりと観察される形態であった。

以上の SEM で見られた紫黒米ベースの蒸しパン生地のミキシングおよび醗酵直後の湿った粘性生地形態は、製パン工程中でのガス保持力を高め、先のファーマグラフの結果で得られた良好な醗酵特性に繋がるものと推察された。

4-5. パンに関する実験

(1) 物性試験結果

表 7 に示すように、米粉 DP では 1 日目の破断試験の最大荷重が 5.30 で、テクスチャー試験での凝集性は 0.87 とやや優れていたが、ガム性の弱いパンとなった。米粉 HDP+T では、1 日目の最大荷重が 9.68 と有意に硬いパンとなったが、凝集性も有意に優れていた。米粉 DP+T では、パン生地を中心部分が粉々になった為、測定出来なかった。このことは、先の写真 1 の SEM 観察できなかったこと、生地の水和が悪い、即ち粉と水が十分に混合されていないことにも繋がる結果と思われた。紫黒米粉 DP は他のパンより破断試験の最大荷重が 1.00 前後と有意に軟らかかったが、凝集性は 0.50 と優れていなかった。紫黒米粉 HDP+T と紫黒米粉 DP+T の 1 日目の最大荷重は、各々 4.72, 4.01 となり、いずれも米粉ベースの試料より軟らかいパンとなった。

米粉、紫黒米のいずれのベースにおいても、DP 澱粉を単独使用した米粉 DP と紫黒米 DP では、パンの軟らかさを増すことがわかった。従って、米粉蒸しパンのソフト感には DP 澱粉が HDP 澱粉より影響が大きいものと考えられる。一方で、HDP 澱粉は、蒸しパンの凝集性やガム性を向上させる性質を持つようであった。以上の加工澱粉の影響は、米粉と紫黒米粉のいずれにも同様の傾向として示された。従って、本実験で用いた各種澱粉の米粉蒸しパンの物性への影響は、古代米、精白米の種別に依存しないことがわかった。

(2) 外観観察結果

各種蒸しパンの外観観察の結果を写真 2 に示す。米粉

ベースでは試料 A, B で、紫黒米ベースでは試料 E, F で膨らみや色味も良好であった。紫黒米粉はタピオカ澱粉を併用した方が良好で、特に HDP 澱粉とタピオカ澱粉の組み合わせの試料 E が好適であることがわかった。先の物性試験で、測定不可となった試料 C では蒸しパンの立ち上がり最も悪くなった。また、HDP 澱粉が蒸しパンの保形性に関与していると推察されたが、これを含む試料 B と E では優れた膨らみをもたらした。

(3) 官能評価結果

米粉ウルチ同士では DP 澱粉を添加した米粉 DP が全体的に高評価を得て有意に良好とされた（表 8）。膨潤抑制した化工澱粉で小麦粉の 20-30% を置換すると容積、口溶け、ソフト感が改善されることが報告されており²⁰⁾、本実験でもその効果が認められた。しかしながら、色、キメ、気泡の大きさなど、特に外観に係る項目では、写真 2 で見られた外観観察で良好とされた米粉 HDP+T で米粉 DP よりも有意に良い評価を得た。紫黒米粉ウルチ同士では、紫黒米粉 HDP+T と紫黒米粉 DP+T で、甘さや味といった食味やキメ・気泡といった外観、総合評価ではほぼ同程度の優れた評価が得られ、互いに有意差を示さないものもあった。しかし、特にテクスチャーに関する項目の口ざわり、舌ざわり、硬さ（ソフト感）については、紫黒米 DP+T が紫黒米 HDP+T よりも有意に良好とされ、紫黒米粉ウルチベースの蒸しパンの食感改善には、DP 澱粉の添加が有効と思われた。これは表 7 に示した物性結果とも対応していた。

米粉 HDP+T と紫黒米粉 HDP+T を比較すると、色、キメ、気泡の状態や崩れにくさや甘さなどの評価においては米粉 HDP+T で高評価を得たが、その他の項目では同程度の評価であった。本実験で使用したタピオカ澱粉は、製麺にも使用され、ソフトで弾力性のある食感をもたらすと言われている²⁰⁾。しかしながら、タピオカ澱粉を使用した 3 試料では、未使用の米粉 DP よりも強い弾力やモチモチ感があるとは評価されず、DP 澱粉だけを含む米粉 DP で、特に弾力性、モチモチ感で有意に高い評価を得る結果となった。

本稿には記載していないが、蒸しパン実験で使用する澱粉を予備検討した。各米粉をベースとしてタピオカ澱粉単独での調製を行った結果、膨らみの良い蒸しパンには仕上がったが、極度にべったりとした内相となり、良好な最終製品にはならなかった。従って、タピオカ澱粉単独では製品の保形性が劣ると思われ、本実験では膨潤や糊化抑制のある DP 澱粉や HDP 澱粉²¹⁾ を併用して蒸しパンの調製を行った。本実験での蒸しパン試料において、タピオカ澱粉の添加が、直接モチモチ感に関係しているか考察はできない。ただし、米粉 DP で得られた有意な弾力性、モチモチ感について考察するならば、精白米をベースとした米粉に膨潤・糊化しない液体状の性質

をもった DP 澱粉が存在することで、軽羹（かるかん）様の均一な気泡が分散した緻密で軟らかい内相をもつ蒸しパンに仕上がったといえる。その結果、官能評価でも食感に関する項目で高スコアに繋がったのではないかと考えられる。

官能評価では、表 7 に示した保存 1 日目の蒸しパンを使用している。そのテクスチャー試験では、米粉 DP よりも 4 倍近く大きな最大荷重を示した紫黒米 DP+T でも同程度に高いスコアが得られた。紫黒米 DP+T が米粉 DP よりも有意に優れているという評価は得られなかったが、前者は後者よりも加水量が約 2 倍近く少ない調製であったにも関わらず、有意差がなく高評価であった。また写真 2 において、紫黒米 DP+T よりも外観上優れていた紫黒米 HDP+T は、有意差はないものの紫黒米 DP+T よりも低いスコアであった。即ち、官能評価は表 7 の物性試験の結果に対応した結果になったと言える。

従って、紫黒米ベースの蒸しパンであっても、加工澱粉を併用することで、食味やテクスチャーの面で、精白米粉ベースよりも有意に劣らず、特にその傾向は DP 澱粉の添加で顕著であると思われる。

以上の結果より、「蒸す」という調理法は、紫黒米粉と加工澱粉の特性にはふさわしく、古代米の加工特性とそれらの最終製品の品質を改善する有効な調理法であると考えられた。

文献

- 1) 猪谷富雄, 「赤米・紫黒米・香り米—「古代米」の品種・栽培・加工・利用 (新特産シリーズ)」, (社団法人 農村漁村文化協会, 東京), pp.14-15, 24-25, 34-37 (2004).
- 2) 猪谷富雄, 岡本実剛, 藤井一範, 武藤徳男, 建本秀樹, 有色米の抗酸化活性とポリフェノール成分の品種間差異, 日本食品科学工学会誌, 49, 540-543 (2002).
- 3) 今野正憲, 橋本建哉, 武田俊一郎, 一石昌作, 畑中咲子, 穴戸郁郎, 原田牧人, 庄司真知雄, 新形質米の高度利用化の研究 紫黒米を用いた清酒製造試験, 宮城県工業技術センター研究報告, 26, 70-72 (1995).
- 4) 大坪研一, 外観, 食味および耐老化性に優れた米粉含有パンの開発, Techno Innovation, 19, 18-24 (2009).
- 5) 小河拓也, 紫黒米「むらさきの舞」アントシアニン色素の特性, 兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告 (農業編), 53, 3-16 (2005).
- 6) 滝田正, 紫黒米うるち品種「おくのむらさき」の育成, 東北農業試験場研究報告, 98, 1-10 (2001).
- 7) 東正昭, 紫黒米もちごめ水稻新品種「朝紫」の育成, 東北農業試験場研究報告, 92, 1-13 (1997).
- 8) Mizouchi, N., Maeda, T., Hosokawa, K. and Morita, N., Functional and processing properties of ancient unpolished rice on breadmaking. Proceedings of the 58th RACI Cereal Chemistry Division Conference, Australia, pp. 184-188 (2008).
- 9) Maeda, T., Mizouchi, N. and Morita, N., Characteristics of ancient unpolished rice and its evaluation of suitable baking methods. Proceedings of the 59th RACI Cereal Chemistry Division Conference, Australia, pp. 171-175 (2009).
- 10) 前田智子, 溝内尚子, 森田尚文, 古代米粉の製パン性に関する研究 (第 1 報), 兵庫教育大学研究紀要, 49, 69-75 (2016).
- 11) 尾精一, 第三編パン, 「小麦粉とパン・めん・菓子・料理」, (財団法人 製粉振興会, 東京), pp.78-79 (2007).
- 12) 石谷孝佑, 「米の辞典—稲作からゲノムまで—」, ((株) 幸書房, 東京), p. 90 (2004).
- 13) 高橋禮治, IV でん粉の加工, 「でん粉製品の知識」, ((株) 幸書房, 東京), pp. 92-124 (2006).
- 14) 松田茂樹, 工藤康文, 麦味噌および大麦麴に含まれるフェルラ酸と抗酸化活性, 日本食品科学工学会誌, 26, 199-203 (2000).
- 15) American Association of Cereal Chemists. Approved Methods of the AACC, 10th ed. Method 22-12. The association: St. Paul, MN. (2000).
- 16) 前田智子, 安藤ひとみ, 森田尚文, 米粉と各種澱粉併用による低アレルギー性蒸しパンへの応用, 兵庫教育大学研究紀要, 44, 135-140 (2014).
- 17) 前田智子, 安藤ひとみ, 森田尚文, 米粉と各種澱粉併用による蒸しおよび焼成ケーキへの利用, 兵庫教育大学研究紀要, 45, 123-129 (2014).
- 18) Hyun Kim, J., Maeda T. and Morita, N., Application of polished-graded wheat grains for sourdough bread. Cereal Chem., 82, 144-151 (2005).
- 19) Maeda T., Hyun Kim, J. and Morita, N., Analysis of volatile compounds in polished-graded wheat flours using headspace sorptive extraction. Eur. Food Res. Technol., 227, 1233-1241 (2008).
- 20) 不波英次, 小巻利章, 檜作進, 貝沼圭二 編著, 澱粉の分子特性の利用, 「澱粉科学の事典」, 初版, ((株) 朝倉書店, 東京), pp. 504-508 (2003).
- 21) 内閣府 食品安全委員会, 要約 IV. 名称等, 「添加物評価書 加工デンプン」(添加物専門調査会), pp.7-8 (2007).